

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

## PATENTSCHRIFT

(18) DD (11) 269 157 A1

4(51) C 10 G 15/12

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WPC 10 G / 311 506 0	(22)	28.12.87	(44)	21.06.89
(71)	Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD				
(72)	Hoffmann, Heinz, Dr. rer. nat.; Kleffe, Reinhard; Köhler, Dagomar, DD				
(54)	Plasmareaktor für die Pyrolyse hochviskoser, teerartiger, kohlenwasserstoffhaltiger Produkte				

(55) Plasmapyrolyse, Teeröl-Feststoff-Rückstände, Acetylen-, Äthylen-Erzeugung, Wasserstoff-Plasmastrahl, Kohlenmonoxid, Methan, Pyrolysegas

(57) Die Erfindung betrifft einen Plasmareaktor zur Pyrolyse hochviskoser, teerartiger, kohlenwasserstoffhaltiger Produkte mit dem Ziel einer rationalen Nutzung der in diesen Stoffen enthaltenen Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffsubstanz zur Herstellung ungesättigter C<sub>2</sub>-Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid im Wasserstoff-Plasmastrahl. Aus einem thermostatisierten Vorratsbehälter werden mittels Kolbendrucks Teeröl-Feststoff-Rückstände aus der Kohle-Druckvergasung in die Zumschebene eines Plasmareaktors gedrückt und dort über eine oder mehrere düsenartige Verengungen in ein turbulentes Wasserstoffplasma seitlich und senkrecht zur Strömungsrichtung des Plasmas eingespritzt. Infolge geeigneter Wahl der Einspritzbedingungen kommt es zu einem Zerreißten des eingespritzten Substanzstromes durch das Plasma, zur Bildung von Tröpfchen, ihrer Verwirbelung, Aufheizung und ihrem thermischen Abbau mit anschließender chemischer Umsetzung, insbesondere zu Acetylen, Äthylen und Methan enthaltendem Pyrolysegas.

ISSN 0433-6461

4 Seiten

- 1 - 269 157

**Patentanspruch:**

Plasmareaktor für die Pyrolyse von hochviskosen, teerartigen, kohlenwasserstoffhaltigen Produkten, insbesondere von Teeröl-Feststoffrückständen aus der Kohle-Druckvergasung, bestehend aus einem beheizbaren Vorratsbehälter, einer auswechselbaren Zumischplatte sowie mit ein oder mehreren austauschbaren Düseneinsätzen und einer entsprechenden Temperatur-Meßeinrichtung, einer Reaktionskammer und Gasquancheinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß die hochviskosen, teerartigen, kohlenwasserstoffhaltigen Ausgangsprodukte im Vorratsbehälter (2) auf 80 bis 130°C erwärmt und mittels eines beweglichen Kolbens (10), vorzugsweise von unten nach oben, über Verbindungsleitungen von höchstens 1 m Länge bei konstanter Temperatur in die Zumischplatte (5) des Plasmastrahl-Reaktors (4) gefördert und dort über ein oder mehrere Düseneinsätze (6) bei Drücken von max. 10 at senkrecht zur Strömungsrichtung des turbulenten Plasmastrahls zugeführt und ein acetylen-äthylenhaltiges Pyrolysegas und Kohlenmonoxid entstehen.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Das Anwendungsgebiet der Erfindung betrifft die Plasmapyrolyse von flüssigen bzw. verflüssigbaren Kohlenwasserstoffen und von kohlenwasserstoffhaltigen Substraten, insbesondere von Teeröl-Feststoffrückständen aus der Kohle-Druckvergasung, zu vorzugsweise ungesättigten Kohlenwasserstoffen, vor allem Acetylen und Äthylen, im Wasserstoff-Plasmastrahl.

**Charakteristik des bekannten Standes der Technik**

In den letzten Jahrzehnten sind international eine Reihe von Vorrichtungen zur plasmachemischen Stoffwandlung entwickelt und technisch realisiert worden, die als Ausgangsmaterial zähflüssige, bituminöse, aber auch feste Kohlenstoffträger einsetzen. Dabei wird das Ziel verfolgt, plasmachemische Stoffwandlungen mit hoher Ausbeute und möglichst geringem Energieaufwand zu betreiben, wobei Wege aufgezeigt werden, wie mit Braunkohle oder deren Extrakten als Einsatzstoffe plasmachemische Stoffwandlungen durchzuführen sind. In der Patentschrift DD-159081 wird eine Vorrichtung zur Umwandlung flüssiger oder verflüssigbarer Kohlenstoffträger zu vorzugsweise Acetylen und Äthylen angegeben. Dabei werden die umzusetzenden Ausgangs-Kohlenwasserstoffe vernebelt und als Tröpfchenwolke mit einem turbulenten Wasserstoff-Plasmastrahl vermischt. In der Schrift DD-218984 wird eine spezielle Verdünnungsvorrichtung zum Einbringen von Flüssigkeiten in rohrummantelte Plasmaströmungen mit dem Ziel einer möglichst vollständigen plasmachemischen Umsetzung der flüssigen Ausgangssubstanzen in die gewünschten Zielprodukte beschrieben. In der DE-OS-2731042 wird ein Lichtbogenreaktor beschrieben, in welchem Kohle von oben durch rotierenden Lichtbogen hindurch, eingespeist wird. Ebenfalls mit der Umsetzung von Kohle, die fein gemahlen ins Gemisch mit Wasserstoff bzw. Methan als Träger einer elektrischen Bogenentladung zugeführt wird, befassen sich die Schriften DE-OS-3128019; US-4358829; US-4378232 und GB-1089092. In eine Lichtbogenkammer kann pulverisierte Kohle auch im Gemisch mit einem Öl oder gasförmigen Kohlenwasserstoff eingebracht werden (US-4010090). Die Viskosität einer flüssigen Kohle-Suspension läßt sich auch durch die Zugabe von CO<sub>2</sub>-Gas in Gestalt feiner Blasen vor der Einführung in einen Plasma-Reaktor weiter herabsetzen und die Dispersion der Suspension beim Eintritt in den Reaktor verbessern (US-4863186).

Die bekannten Vorrichtungen beschränken sich auf die Pyrolyse von Feststoffen (z. B. Kohle) bzw. auf die Umsetzung von Flüssigkeiten (Öle, Kohlenwasserstoffe) oder auf Gemische aus beiden Komponenten. Dabei wird in den meisten Fällen dem elektrischen Lichtbogen aus technischen und historischen Gründen gegenüber dem Plasmastrahl der Vorzug gegeben. Bei der plasmachemischen Umsetzung der Kohle erfordern Mahlung auf Korngrößen von einigen hundertstel Millimetern und Trocknung einen erhöhten Aufwand. Zur Pyrolyse der feingemahlenden Feststoffe werden teilweise Suspensionen mit Flüssigkeiten hergestellt sowie zusätzlich Hilfsgase für die Einbringungen in den Plasmareaktor eingesetzt.

**Ziel der Erfindung**

Ziel der Erfindung ist, eine aufwendige Trocknung der Ausgangs-Kohlenwasserstoffe sowie ihre Mahlung auf geringe Korngrößen zu vermeiden und eine maximale stoffliche Nutzung der mit dem Kohlenstoffträger in den Reaktor eingebrachten Kohlenstoff- und Wasserstoffsubstanz unter Verzicht auf Zusätze von Dispergierhilfsmitteln, Lösungsmitteln bzw. Wasser oder anderen geeigneten Additiven zur Herabsetzung der Viskosität zu erreichen.

**Darlegung des Wesens der Erfindung**

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Plasmareaktor zur komplexen stofflichen Nutzung der Kohlenstoff-Wasserstoff-Substanz von Teeröl-Feststoffrückständen aus der Kohle-Druckvergasung, aber auch von Kohlenwasserstoffen anderer Herkunft mit ähnlichen stofflichen Eigenschaften zu entwickeln.

Erfindungsgemäß besteht der Plasmareaktor aus einem beheizbaren Vorratsbehälter, der über eine Verbindungsleitung von höchstens 1 m Länge mit einer auswechselbaren Zumischplatte verbunden ist, die wiederum Bestandteil eines Plasmastrahl-

- 2 - 269 157

Reaktors, bestehend aus Plasmatron, Zurnischplatte, Reaktionskammer und Gasquenchvorrichtung, ist. Der Vorratsbehälter besteht aus einem zylindrischen Rohr zur Aufnahme der einzusetzenden hochviskosen, teerartigen, kohlenwasserstoffhaltigen Produkte, einem in diesem angeordneten und in vertikaler Richtung verschiebbaren Kolben und entsprechenden Heizeinrichtungen am Außenmantel des zylindrischen Rohres, die über eine Temperatur-, Maß- und Regeleinrichtung auf konstanter Temperatur gehalten werden können. Das gleiche gilt für die kurze Verbindungsleitung zwischen Vorratsbehälter und Zurnischplatte. Die austauschbare Zurnischplatte besteht aus einer zylindrischen Scheibe aus Kupfer, in deren Zentrum sich ein Durchlaß für den vertikal von oben nach unten strömenden Plasmastrahl befindet, einer radialen Bohrung vom Außenmantel bis zum inneren Durchlaß, deren Durchmesser unmittelbar vor Erreichen des inneren Durchlasses durch einen austauschbaren Düsenersatz verengt wird sowie einer weiteren radialen Bohrung zur Aufnahme einer Temperatureinrichtung und entsprechenden Zu- und Ableitungen für Kühlmittel zur Aufrechterhaltung einer konstanten Vorwärmtemperatur der hochviskosen, teerartigen, kohlenwasserstoffhaltigen Produkte.

Die Ausgangskohlenwasserstoffe werden im Vorratsbehälter auf 80 bis 130°C erwärmt und durch eine über ein Zahradgetriebe gezielt steuerbare Bewegung eines Kolbens von unten nach oben über eine Verbindungsleitung von höchstens 1 m Länge und bei konstanter Temperatur in die Zurnischplatte des Plasmastrahl-Reaktors gefördert und dort über ein oder mehrere Düsenansätze bei Drücken bis max. 10 at senkrecht zur Strömungsrichtung des turbulenten Plasmastrahls derart zugeführt, daß es zum Zerreißten des eingespritzten Substanzstromes durch das Plasma, zur Bildung von Tröpfchen, ihrer Verwirbelung, Aufheizung und ihrem thermischen Abbau mit anschließender chemischer Umsetzung kommt und ein acetylen-äthylenhaltiges Pyrolysegas und Kohlenmonoxid gebildet werden.

#### Ausführungsbeispiel

In der zugehörigen Zeichnung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung schematisch dargestellt. Der Plasmastrahl-Reaktor 4 besteht aus Plasmatron 1, Zurnischplatte 5, Reaktionskammer 8, Gasquenchvorrichtung 9 und Vorratsbehälter 2. Zurnischplatte 5 und Vorratsbehälter 2 sind über eine kurze Verbindungsleitung 3 miteinander gekoppelt. Beide Baueinheiten sind am Außenmantel mit Heizeinrichtungen 12 versehen. Der Vorratsbehälter 2 besteht aus einem zylindrischen Rohr 11 und einem in diesem angeordneten und in vertikaler Richtung verschiebbaren Kolben 10. Die Zurnischplatte 5 besteht aus einer zylindrischen Scheibe 13 aus Kupfer, in deren Zentrum sich ein Durchlaß 14 für den Plasmastrahl befindet, einer radialen Bohrung 15 vom Außenmantel bis zum inneren Durchlaß 14, deren Durchmesser unmittelbar vor Erreichen des inneren Durchlasses 14 durch einen austauschbaren Düsenersatz 6 verengt wird sowie einer weiteren radialen Bohrung zur Aufnahme einer Temperatur-Meßeinrichtung 7 und entsprechenden Zu- und Ableitungen 16; 17 für Kühlmittel.

Der vom Plasmatron 1 erzeugte Wasserstoff-Plasmastrahl strömt vertikal von oben nach unten durch die Reisinheiten des Plasmastrahl-Reaktors 4. Die Ausgangskohlenwasserstoffe, insbesondere hochviskose Teeröl-Feststoff-Rückstände aus der Kohle-Druckvergasung, werden im Vorratsbehälter 2 auf 90°C erwärmt und aus diesem unter Konstanthaltung der Vorwärmtemperatur mittels Kolbendrucks über die kurze Verbindungsleitung 3 in die Zurnischplatte 5 des Plasmastrahl-Reaktors 4 gefördert und dort über den Düsenersatz 6 unter hohem Druck ( $\leq 10$  at) senkrecht zur Strömungsrichtung des turbulenten Plasmastrahls derart zugeführt, daß es zum Zerreißten des eingespritzten Substanzstromes durch das Plasma, zur Bildung von Tröpfchen, ihrer Verwirbelung, Aufheizung und ihrem thermischen Abbau mit anschließender chemischer Umsetzung kommt und ein acetylen-äthylenhaltiges Pyrolysegas und Kohlenmonoxid gebildet werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wurden Visbreaker-Rückstände der Erdölspaltung, die bei Raumtemperaturen eine homogene, sirupartige Masse der Zusammensetzung 85 Ma.-% Kohlenstoff, 10 Ma.-% Wasserstoff und 5% Sand bzw. Schlacke bilden, im Vorratsbehälter 2 auf 130°C erwärmt und aus diesem mittels Kolbendrucks über drei gleichmäßig über den Umfang des Düsenersatzes 6 verteilte Bohrungen von 1 mm Durchmesser senkrecht zur Plasmaströmung eingespeist. Das nach Quenchung den Reaktor verlassende Pyrolysegas hatte folgende Zusammensetzung:

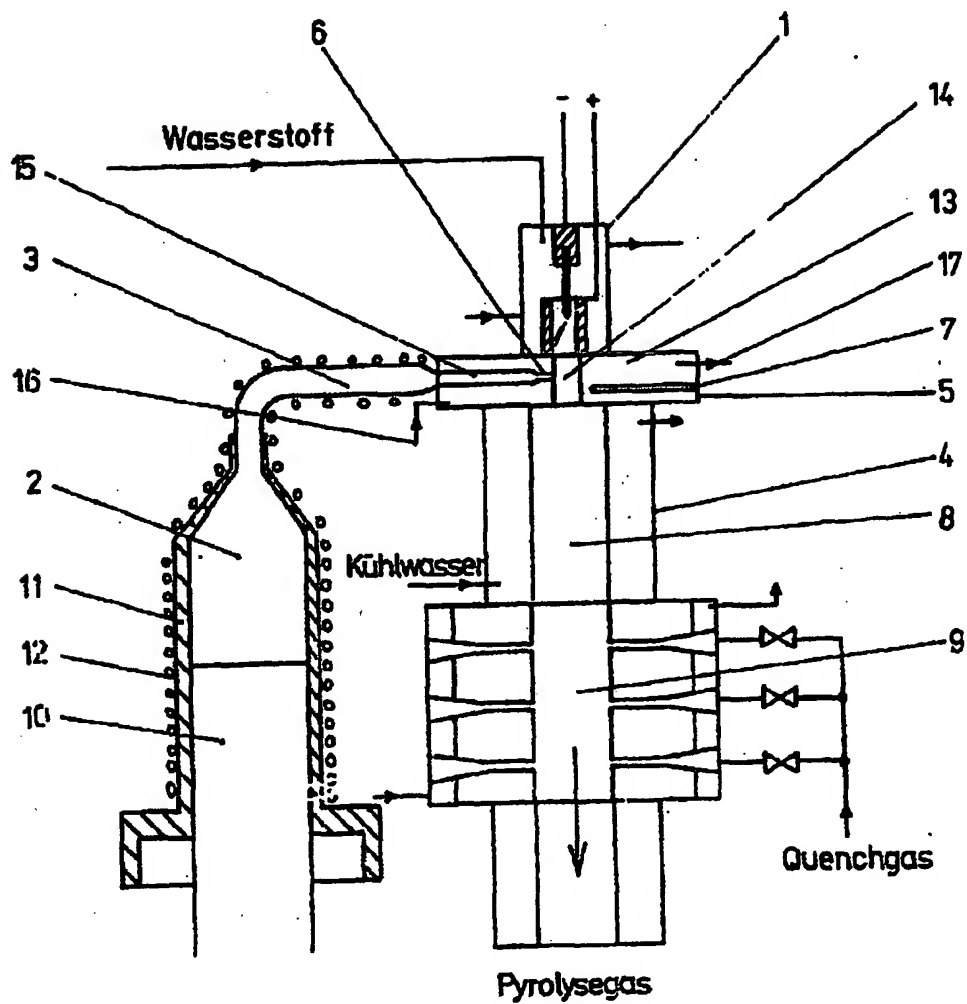
H <sub>2</sub>	— 82,9 Vol.-%
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	— 11,4 Vol.-%
CH <sub>4</sub>	— 2,5 Vol.-%
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	— 1,1 Vol.-%
CO	— 0,6 Vol.-%
Sonstige	— 1,5 Vol.-%

Diese optimalen Pyrolysebedingungen lassen sich durch Korrelation der nachstehend aufgeführten Parameter von Einsatzstoff und Plasma und den Durchlaß-Abmessungen erreichen.  
Plasma-Parameter und Durchlaß-Abmessungen:

Enthalpie des Wasserstoffplasmas	3 kWh/m <sup>3</sup>
mittlere Temperatur	3500 K
Druck	10 <sup>6</sup> Pa
Wasserstoff-Durchsatz	3 m <sup>3</sup> /h bei 300 K
lichte Weite des Durchlasses 14	7 · 10 <sup>-3</sup> m
Parameter der umzusetzenden Visbreaker-Rückstände:	
Eintrittsgeschwindigkeit	1 m/s
Dichte bei 120°C	950 kg/m <sup>3</sup>
Zurnischung	2 · 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /h
mittlerer Tröpfchen-Durchmesser	200 µm
Gesamt-Verweilzeit im Plasma	4 · 10 <sup>-3</sup> s

- 3 -

269 457



GERMAN DEMOCRATIC REPUBLIC

PATENT

(12) Economic Patent

(19) DD

(11) 269 157 A1

Granted per § 17 Par. 1 of the Patent Statute

4(51) C 10 G 15/12

OFFICE OF INVENTIONS AND PATENTS

Published in the version submitted by the Applicant

---

(21) WP C 10 G / 311 506 0

(22) 12.28.87

(44) 06.21.89

---

(71) Academy of Sciences of the GDR, Otto-Nuschke-Strasse 22/23, Berlin, 1080, DD

(72) Hoffmann, Heinz, Dr.rer.nat.; Kieffe, Reinhard; Köhler, Dagomar, DD

---

(54) Plasma reactor for pyrolysis of highly viscose, tarlike, hydrocarbon-containing products

---

(55) Plasma pyrolysis, creosote solid residues, production of acetylene and ethylene, hydrogen plasma jet, carbon monoxide, methane, pyrolysis gas

(57) The invention concerns a plasma reactor for pyrolysis of highly viscose, tarlike, hydrocarbon-containing products with the goal of a rational utilization of the carbon and hydrogen substance contained in these materials for production of unsaturated C<sub>2</sub>-hydrocarbons and carbon monoxide in the hydrogen plasma jet. From a thermostatically controlled reservoir, piston pressure forces creosote solid residues from pressurized coal gasification into the mixing level of a plasma reactor, where they are injected via one or more nozzle-like constrictions into a turbulent hydrogen plasma at the side of and perpendicular to the direction of flow of the plasma. Thanks to suitable choice of the injection conditions, the injected flow of substance is torn apart by the plasma, forming droplets, producing a vortex, heating and accomplishing a thermal breakdown with subsequent chemical conversion, especially into pyrolysis gas containing acetylene, ethylene and methane.

ISSN 0433-6461

4 Pages

**Patent claim:**

Plasma reactor for the pyrolysis of highly viscose, tarlike, hydrocarbon-containing products, especially creosote solid residues from pressurized coal gasification, consisting of a heatable reservoir, an interchangeable mixing plate, as well as a reaction chamber with one or more interchangeable nozzle inserts and a corresponding temperature measuring device and a gas quenching device, characterized in that the high viscose, tarlike, hydrocarbon-containing starting products are heated in the reservoir (2) to 80-130°C and delivered by means of a movable piston (10), preferably from bottom to top, via connection lines of at most one meter in length, at constant temperature, into the mixing plate (5) of the plasma jet reactor (4), where they are fed via one or more nozzle inserts (6) at pressures of maximum 10 atmospheres. perpendicularly to the direction of flow of the turbulent plasma jet, resulting in pyrolysis gas containing acetylene/ethylene and carbon monoxide.

Plus 1 page of drawings

**Area of Application of the Invention**

The area of application of the invention concerns plasma pyrolysis of liquid and liquefiable hydrocarbons and hydrocarbon-containing substrates, in particular, creosote solid residues from pressurized coal gasification, preferably forming unsaturated hydrocarbons, especially acetylene and ethylene, in the hydrogen plasma jet.

**Characteristics of the known State of the Art**

In recent decades, a number of devices for plasma-chemical transformation of material have been developed internationally and implemented technically, using as their starting material viscose, bituminous, and also solid carbon carriers. The goal pursued is to produce plasma-chemical transformations of material at high yield and with lowest possible energy expense, pointing out ways of producing plasma-chemical material transformations with brown coal or extracts thereof as the input materials. In the patent DD-159081, a device is indicated for transforming liquid or liquefiable carbon carriers into preferably acetylene and ethylene. The starting hydrocarbons being transformed are nebulized and mixed as a cloud of droplets with a turbulent hydrogen plasma jet. In document DD-218984, a special atomizing device is described for bringing liquids into pipe-jacketed plasma flows with the goal of accomplishing the most complete plasma-chemical transformation of the liquid starting substances into the desired target products. In DE-OS-2731042, an arc reactor is described, in which coal is fed in from above through rotating arcs. Likewise dealing with the transformation of coal, which is finely ground and fed in mixture with hydrogen or methane as the carrier to an electric arc discharge, are the documents DE-OS-3128019, US-4358629; US-4378232 and GB-1089092. Pulverized coal can also be brought into an arc chamber in mixture with an oil or gaseous hydrocarbon (US-4010090). The viscosity of a liquid coal suspension can be further reduced before being brought into a plasma reactor by adding CO<sub>2</sub> gas in the form

of fine bubbles, improving the dispersion of the suspension as it enters the reactor (US-4563196).

The known devices are confined to the pyrolysis of solids (e.g., coal) or to the transformation of liquids (oils, coal components) or mixtures of both of these. In most instances, for technical and historical reasons one prefers an electric arc to a plasma jet. In plasma-chemical transformation of coal, the grinding down to sizes of several hundredths of millimeters and the drying necessitate an increased expense. Sometimes suspensions with liquids are prepared for the pyrolysis of finely ground solids, and auxiliary gases are also used to bring them into the plasma reactor.

### **Purpose of the Invention**

The purpose of the invention is to avoid a costly drying of the starting hydrocarbons, as well as a grinding of them to small grain sizes, and to accomplish the maximum utilization of the carbon and hydrogen substance brought into the reactor with the carbon carrier, without the use of additives such as dispersing agents, solvents or water, or other suitable additives for lowering the viscosity.

### **Presentation of the Essence of the Invention**

The basic problem of the invention is to develop a plasma reactor for complex utilization of the carbon and hydrogen substance of creosote solid residues from pressurized coal gasification, as well as hydrocarbons of other origin with similar material properties. According to the invention, the plasma reactor consists of a heatable reservoir, which is connected via a connection line of no more than one meter length to an interchangeable mixing plate, which in turn is part of a plasma jet reactor, consisting of plasmatron, mixing plate, reaction chamber and gas quenching device. The reservoir consists of a cylindrical pipe to receive the highly viscose, tarlike, hydrocarbon-containing starting products, a piston arranged therein and able to move in vertical direction, and corresponding heating devices on the outer jacket of the cylindrical pipe, which can be maintained at constant temperature via a temperature measuring and regulating device. The same holds for the short connection line between reservoir and mixing plate. The interchangeable mixing plate consists of a cylindrical disk of copper, at the center of which is an opening for the plasma jet flowing vertically downward from above, a radial borehole from the outer jacket to the inner opening, whose diameter immediately before reaching the inner opening is narrowed by an interchangeable nozzle insert, and another radial borehole to accommodate a temperature device and corresponding inlet and drain lines for cooling agent to maintain a constant preheating temperature for the highly viscose, tarlike, hydrocarbon-containing products.

The starting hydrocarbons are heated to 80 to 130°C in the reservoir and delivered by a movement of the piston from bottom to top, controlled by a gear mechanism, across a connection line of no more than one meter length and maintained at constant temperature to the mixing plate of the plasma jet reactor, where they are fed by one or more nozzle inserts at pressures of maximum 10 atmospheres perpendicular to the direction of flow of the turbulent plasma jet so that the injected substance stream is torn apart by the plasma,

forming droplets, which are swirled, heated, and broken down thermally with subsequent chemical transformation, forming a pyrolysis gas which contains acetylene/ethylene and carbon monoxide.

### Sample embodiment

The corresponding drawing schematically shows the device of the invention. The plasma jet reactor 4 consists of plasmatron 1, mixing plate 5, reaction chamber 8, gas quenching device 9 and reservoir 2. The mixing plate 5 and reservoir 2 are joined together by a short connection line 3. Both elements are provided with heating devices 12 on the outer jacket. The reservoir 2 consists of a cylindrical pipe 11 and a piston 10 arranged therein and able to move in vertical direction. The mixing plate 5 consists of a cylindrical disk 13 of copper, at the center of which there is an opening 14 for the plasma jet, a radial borehole 15 from the outer jacket to the inner opening 14, whose diameter immediately before reaching the inner opening 14 is narrowed by an interchangeable nozzle insert 6, and another radial borehole to accommodate a temperature measuring device 7 and corresponding inlet and drain lines 16, 17 for heat transfer agent.

The hydrogen plasma jet produced by the plasmatron 1 flows vertically from top to bottom through the structural elements of the plasma jet reactor 4. The starting hydrocarbons, especially highly viscose creosote solids residues from pressurized coal gasification, are heated to 90°C in the reservoir 2 and delivered from this under constantly maintained preheating temperature by piston pressure across the short connection line 3 into the mixing plate 5 of the plasma jet reactor 4 and fed there via the nozzle insert 6 under high pressure ( $\leq 10$  at.) perpendicular to the direction of flow of the turbulent plasma jet, so that the injected substance stream is torn apart by the plasma, forming droplets, which are swirled and heated and broken down thermally with subsequent chemical transformation, forming a pyrolysis gas containing acetylene/ethylene and carbon monoxide.

In another sample embodiment, Visbreaker residues from petroleum cracking, which at room temperature form a homogeneous, syruplike mass with composition of 85 m.% carbon, 10 m.% hydrogen and 5% sand or slag, were heated in the reservoir 2 to 130°C and fed from this by piston pressure via three boreholes of 1 mm diameter, distributed evenly about the circumference of the nozzle insert 6, perpendicular to the plasma flow. The pyrolysis gas leaving the reactor after quenching had the following composition:

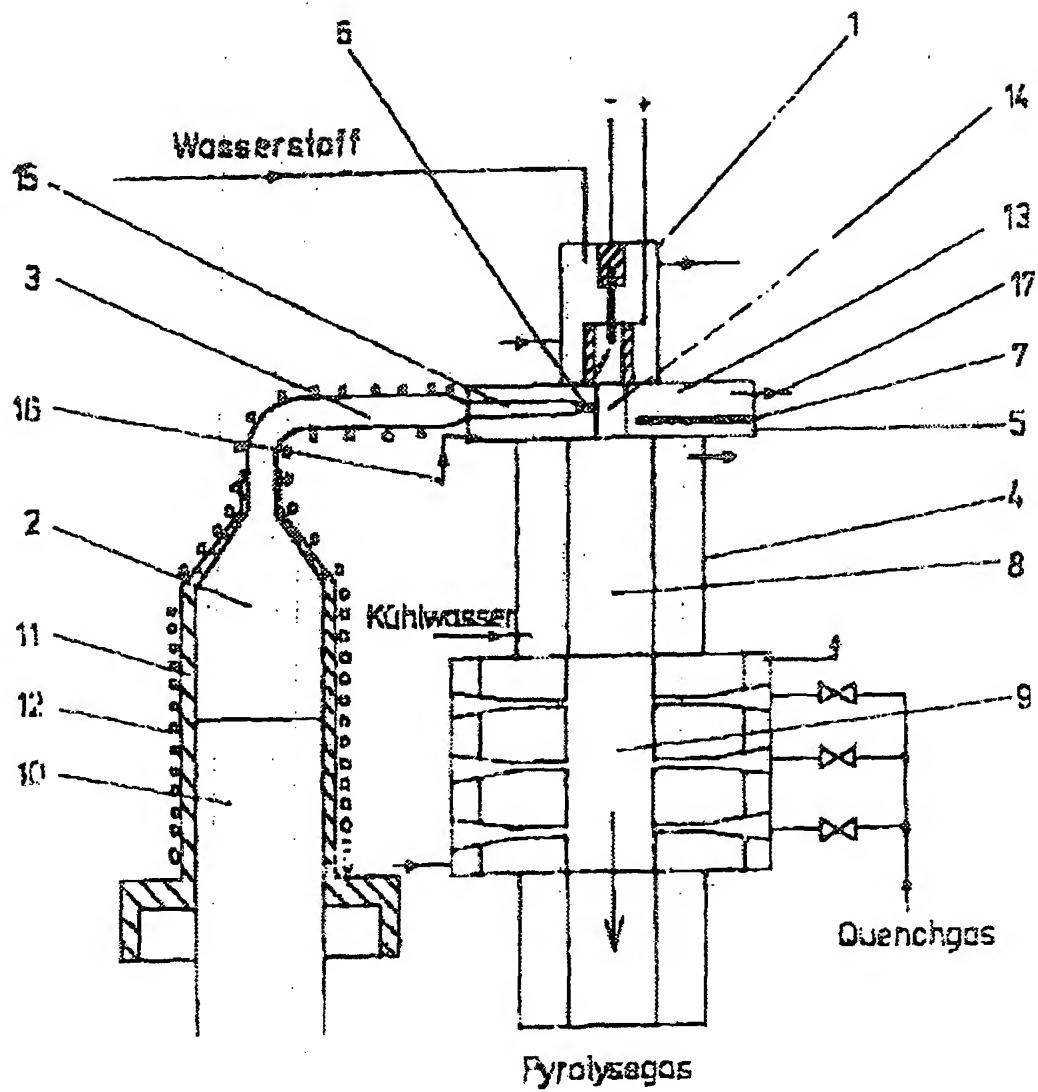
H <sub>2</sub>	-	82.9 vol. %
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-	11.4 vol. %
CH <sub>4</sub>	-	2.5 vol. %
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-	1.1 vol. %
CO	-	0.6 vol. %
other	-	1.5 vol. %

These optimal pyrolysis conditions can be achieved by correlating the following listed parameters of input substance and plasma and the dimensions of the opening.



## Plasma parameters and dimensions of the opening:

Enthalpy of the hydrogen plasma	3 kWh/m <sup>3</sup>	
mean temperature	3500 K	
Pressure		10 <sup>5?</sup> Pa
Water flow rate	3 m <sup>3</sup> /h at 300 K	
clearance of the opening 14	7·10 <sup>-3</sup> m	
Parameters of the Visbreaker residue being converted:		
Entry velocity		1 m/s
Density at 120°C	950 kg/m <sup>3</sup>	
Mixing rate	2·10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /h	
mean droplet diameter	200 μm	
Total dwell time in plasma	4·10 <sup>-3</sup> s	



Key:

Wasserstoff = hydrogen  
 Kühlwasser = cooling water  
 Quenchgas = quench gas  
 Pyrolysegas = pyrolysis gas